



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ ROTAČNÍHO DÍLU NA CNC STROJI

MACHINING A ROTATING PART OF THE CNC MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL BODA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Boda

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Strojírenská technologie (2303R002)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obrábění rotačního dílu na CNC stroji

v anglickém jazyce:

Machining a Rotating Part of the CNC Machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod do technologie na CNC strojích.
2. Rozbor rotační součásti (3D model, funkčnost, materiál).
3. Návrh CNC technologie.
4. Sestavení NC programu, ověření.
5. Technicko-ekonomické vyhodnocení.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Sestavení a zprovoznění CNC technologie pro středně složitou součást. Znalost řídicích systémů světových výrobců. Orientace v databázích řezných nástrojů.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
4. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
5. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
6. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. Základy konstruování. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. ISBN 80-7204-405-2.
7. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6
8. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 27.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V této bakalářské práci je zpracován návrh na výrobu dílu matice pojistky. Práce se zabývá rozбором součásti, návrhem technologie včetně volby strojů a nástrojů, což je doloženo výrobním postupem, návodkou, NC programem a technicko-ekonomickým vyhodnocením.

Klíčová slova

soustružení, NC program, rotační součást, nástroj, obrobitelnost

ABSTRACT

This bachelor thesis is a proposal how to manufacture matice pojistky. The work deals with the analysis of components, design technology, including the choice of machines and tools. The evidence is provided by manufacturing process, manual, NC program and techno-economic evaluation.

Key words

Machining, NC program, rotating part, tool, machinability

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BODA, Michal. *Obrábění rotačního dílu na CNC stroji*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 35 s. 4 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění rotačního dílu na CNC stroji** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Michal Boda

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT Brno za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a také firmě ITZ, s. r. o za praktické rady k výrobě dílu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ÚVOD DO TECHNOLOGIE NA CNC STROJÍCH	10
1.1 Seznámení s CNC technologií	10
1.2 Přehled používaných funkcí	12
2 ROZBOR ROTAČNÍ SOUČÁSTI.....	13
2.1 Povrchová úprava dílu - stříbření	13
2.2 Technologičnost dílu	14
2.3 Volba polotovaru.....	14
2.4 Výpočet normy spotřeby materiálu	14
2.5 Hlavní ukazatelé technologičnosti	15
3 NÁVRH CNC TECHNOLOGIE.....	18
3.1 Volba Stroje	18
3.1.1 CNC soustruh Opti L44	18
3.2 Volba nástrojů	19
3.3 Výrobní postup.....	20
3.4 Návodka	21
3.4.1 Výpočet otáček	23
3.4.2 Výpočet strojního času.....	23
4 SESTAVENÍ NC PROGRAMU, OVĚŘENÍ.....	24
4.1 NC program.....	24
4.2 Zobrazení simulace hrubování	24
4.3 Zobrazení simulace dokončování.....	25
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ.....	27
5.1 Příkon stroje	27
5.2 Spotřeba elektrické energie	27
5.3 Počet nástrojů	27
5.3.1 Vrtání	27
5.3.2 Vnější hrubování.....	27
5.3.3 Vnitřní hrubování.....	28
5.3.4 Vnější dokončování	28

5.3.5	Vnitřní dokončování	28
5.3.6	Soustružení zápichu	28
5.3.7	Soustružení závitu	28
5.4	Náklady na obsluhu	29
5.5	Náklady na povrchovou úpravu	29
5.6	Hrubý odhad výrobních nákladů dílu	29
DISKUZE		30
ZÁVĚR		31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		32
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		33
SEZNAM PŘÍLOH		35

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou dílu matice pojistky využívanou firmou ABB, s.r.o. Tento díl je do firmy ABB dodáván firmou ITZ, s.r.o., se kterou autor spolupracuje.

První část obsahuje technologický rozbor dílu od technologičnosti po volbu materiálu a polotovaru. Dále se zde nachází kompletní návrh CNC technologie včetně volby strojů a nástrojů, také řeší výrobní postup a návodku s veškerými potřebnými údaji pro výrobu dílu. V práci je obsažen NC program s jeho ověřením v simulaci S 2000. V technicko-ekonomickém vyhodnocení jsou spočítány předběžné náklady. V poslední kapitole je vedena diskuze na téma zlepšení efektivnosti výroby dílu a také zlepšení jeho konstrukce s hlediska manipulace.

1 ÚVOD DO TECHNOLOGIE NA CNC STROJÍCH

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem (viz obr. 1.1) pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí.[1]



Obr. 1.1 Ovládací panel se systémem Sinumerik [2].

Pojem CNC (Computer Numerical Control) značí:

Počítačem (číslicově) řízený (stroj).

Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné (obdobné) výrobě a pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obráběcí, tvářecí, montážní, měřicí) a jejich typickými představiteli, které se používají pro výcvik programátorů a obsluhy, jsou soustruhy a frézky [1].

1.1 Seznámení s CNC technologií

Při obrábění pomocí CNC stroje se ovládání pracovních funkcí stroje děje pomocí řídicího systému a vytvořeného programu. Výrobní program je posloupnost oddělených skupin znaků, kterým říkáme věty neboli programové bloky. Pro řídicí systém jsou zdrojem po sobě jdoucích příkazů (viz kap. 1.2) a umožňují řízení CNC stroje při provádění mnohdy i velmi složitých operací (například plynulý pohyb v pěti osách současně).

Každá věta obsahuje dva druhy informací a to: geometrické a technologické. Informace jsou převáděny do impulsů elektrického proudu nebo jiných výstupních signálů, které aktivují ovládací mechanismy stroje: (servopohony, hlavní motory, atd.), které jsou nezbytné pro chod stroje.

Na rozdíl od konvenčního stroje, není vlastní výrobní proces CNC stroje ovlivňován vlastnostmi a produktivitou pracovní obsluhou stroje. Obráběcí proces CNC stroje je automatický a zasahování do něj obsluhou je omezeno na minimum, což se projevuje ve spotřebě času, životnosti nástroje i jakosti výroby.

Programátorem sestavujícím program pro výrobu součástí na CNC stroji jsou zpracovaná data přenesena na nosiče informací, ze kterého jsou pomocí řídicí jednotky aktivovány vlastní instrukce stroje.

Zavedením CNC strojů se dosáhlo vyššího využití obráběcího stroje a možné časté střídání tvarově i rozměrově složitosti vyráběného obrobků. Přináší to tedy široké uplatnění při opakované výrobě. Kdy jednou vypracovaný program uložený na nosiče informací se využije kdykoliv při opakování výroby.

Ve strojírenské výrobě se setkáváme s CNC technologií u obráběcích (obr. 1.2), tvářecích, měřicích a rýsovacích strojů a manipulační techniky. Mimo tyto oblasti je číslíkové řízení rozšířeno i na vypalovací stroje, stroje pro svařování, nýtovačky, montážní stroje, stroje pro kontrolu vad materiálu apod. Číslíkové řízené stroje můžeme tedy najít ve všech odvětvích průmyslu [1].



Obr. 1.2 Obráběcí CNC stroj [3].

1.2 Přehled používaných funkcí

Při programování CNC strojů se používají funkce přípravné (G – tab. 1.1) a pomocné (M – tab. 1.2).

Tab. 1.1 Přípravné funkce.

Označení funkce	Význam funkce
G00	Rychloposuv
G01	Pracovní posuv
G02	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G02	Kruhová interpolace proti hodinových ručiček
G04	Časová prodleva
G17	Základní pracovní rovina X – Y
G18	Základní pracovní rovina Z – X
G19	Základní pracovní rovina Y – Z
G33	Řezání závitů
G40	Zrušení korekce dráhy nástroje
G41	Korekce dráhy nástroje vlevo od obrysu obrobku
G42	Korekce dráhy nástroje vpravo od obrysu obrobku
G54 až G59	Posunutí nulového bodu
G90	Absolutní programování
G91	Přírůstkové programování

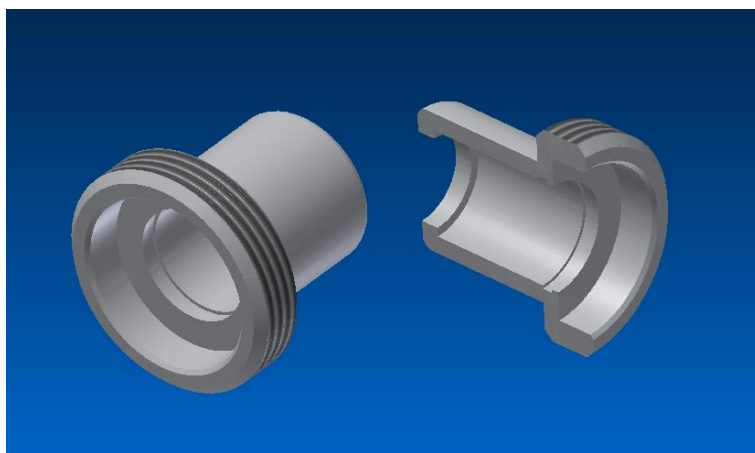
Tab. 1.2 Pomocné funkce.

Označení funkce	Význam funkce
M00	Programovatelný stop
M03	Otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
M04	Otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
M05	Stop vřetene
M06	Výměna nástroje
M07	Zapnutí mazání
M08	Zapnutí chlazení
M09	Vypnutí chlazení
M30	Konec programu

2 ROZBOR ROTAČNÍ SOUČÁSTI

Vyráběný díl je matice pojistky na obr. 2.1 o největším průměru 60 mm a délce 55 mm (viz příloha 1). Součást se skládá z průchozí díry v ose, vnitřních osazení, vnitřního zápichu. Na vnější ploše součásti je rádius, osazení, a na největším průměru závit. Materiálem součásti je hliníková slitina ČSN 42 4254 s chemickým složením AlCu₄MgPb. Jehož obrobiteľnosť je dle normativů řezných podmínek 10d.

Vyráběná součást je využívána firmou ABB, s. r. o., kde je montována do rozvaděčů viz obr. 2.2. U součásti je požadavek na vysokou elektrickou vodivost a z tohoto důvodu je po obrobení provedeno galvanické stříbření. Celý díl je vyroben u firmy ITZ, s. r. o.



Obr. 2.1 3D model matice pojistky.



Obr. 2.2 Využití matice pojistky.

2.1 Povrchová úprava dílu - stříbření

Z důvodu potřeby vysoké vodivosti je vyráběný díl po obrobení galvanicky stříbřen. Pokovování stříbrem, tj. nanášení čistého kovového stříbra, patří mezi technické povlaky, ale může najít i dekorativní uplatnění. Hlavním účelem galvanického stříbření je však zvýšení elektrické vodivosti. Nanášená vrstva může být dle požadavků 5 – 10 μm.

2.2 Technologičnost dílu

Na dílu matice pojistky se nenacházejí žádné extrémně složité a přesné výrobní prvky. Při obrobitelnosti třídy 10d nám stačí konvenční stroje.

Nejnižší průměrná aritmetická úchylka profilu dílu je $Ra\ 1,6\ \mu m$. Ra na ostatním povrchu dílu je $3,2\ \mu m$. vnitřních $\varnothing 25,3$ a $\varnothing 30,2$ jsou tolerance $\pm 0,1\ mm$:

- díl je složen ze soustružených vnitřních a vnějších průměrů, vnitřního zápichu a vnějšího závitu,
- díl je středně technologicky složitý, ale z důvodu drsností, které lze dodržet na CNC stroji se výroba nebude prodražovat. Výroba celé součásti bude provedena na dvě upnutí.

2.3 Volba polotovaru

Jako polotovar je volena tyč od firmy Keramet, s. r. o., viz obr. 2.3, s průměrem 60 mm a to z důvodu ušetřit na materiálu. Celková délka tyče bude $L = 3000\ mm$. Nebyl prováděn výpočet přídavku na průměru z důvodu vlastních zkušeností technologa.



Obr. 2.3 Tyč od firmy Keramet [4].

Hmotnost hotové matice pojistky je 0,165 kg. Potřebný polotovar nadělený na pásové pile bude delší o 2 mm než délka hotové součásti, tedy 57 mm.

2.4 Výpočet normy spotřeby materiálu

Normy spotřeby materiálu jsou ve výrobě podkladem nejen k sestavení plánu materiálně technického zabezpečení, ale také podkladem pro výpočet výrobních nákladů. Polotovary z tyčí – přířezy se získávají následovně.

Při zpracování tyčí vznikají ztráty:

- a) při dělení,
- b) obráběním přídavek,
- c) z konce tyče, který není rozměrově využitelný.

2.5 Hlavní ukazatelé technologičnosti

– Ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy:

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^h H_i \cdot n_i}{n} [\mu m] \quad (2.1)$$

kde:

H_i [μm] – jakost povrchu

n_i [-] – četnost výskytu dané jakosti povrchu

n [-] – četnost výskytu všech uvažovaných drsností

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^h H_i \cdot n_i}{n} = \frac{3,2 \cdot 6 + 1,6 \cdot 2}{8} = 2,8 \mu m$$

– Ukazatel průměrné přesnosti:

$$U_p = \frac{\sum_{i=1}^h P_i \cdot n_i}{n} [-] \quad (2.2)$$

kde:

P_i – IT číslo dané operace ($H5 = 5$)

n_i [-] – četnost výskytu určité tolerance

n [-] – četnost výskytu všech uvažovaných tolerancí

$$U_p = \frac{\sum_{i=1}^h P_i \cdot n_i}{n} = \frac{12 \cdot 5 + 11 \cdot 3}{8} = 11,625$$

– Ukazatel využití materiálu:

$$U_m = \frac{G_1}{G_2} [-] \quad (2.3)$$

kde:

G_1 [kg] – hmotnost výrobku

G_2 [kg] – hmotnost polotovaru

$$U_m = \frac{G_1}{G_2} = \frac{0,165}{0,437} = 0,377$$

Základní údaje pro následující výpočty jsou uvedeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1 základní údaje.

Hustota hliníku ρ	2700 kg·m ⁻³
Sériovost s	100 ks
Délka dodávané tyče L_D	3 000 mm
Délka polotovaru pro řezání L_I	57 mm
Prořez při tloušťce pilového pásu 1 mm L_P	cca 1 mm
Délka polotovaru i s prořezem L_2	58 mm

– **Počet kusů z tyče:**

$$\sum Q_{KS} = \frac{L_D}{L_2} [ks] \quad (2.4)$$

kde:

L_D [ks] – délka dodávané tyče

L_2 [ks] – délka polotovaru i s prořezem

$$\sum Q_{KS} \frac{L_D}{L_2} = \frac{3000}{58} = 51,7 \text{ ks}$$

Z výpočtu je zřejmé, že z 3000 mm tyče bude nařezáno 51 kusů polotovaru.

– **Objem odpadu materiálu způsobený prořezem:**

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v [mm^3] \quad (2.5)$$

kde:

D [mm] – průměr tyče

v [mm] – výška prořezu

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v = \frac{\pi \cdot 60^2}{4} \cdot 2 = 5655 \text{ mm}^3$$

– **Celkový objem materiálu způsobený prořezem:**

$$V_C = V \cdot \sum Q_{KS} - L_P [m^3] \quad (2.6)$$

kde:

L_P [ks] – délka prořezu pilového pásu

$$V_C = V \cdot (51 - 1) = 5655 \cdot 50 = 282743 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,00283 \text{ m}^3$$

Hmotnost tyče při hustotě hliníku je $m_T = 22,9 \text{ kg}$

- **Celková hmotnost tyčí:**

$$M_C = \sum Q_{kst} \cdot m_T [kg] \quad (2.7)$$

kde:

m_T [kg] – hmotnost jedné tyče

Q_{kst} [ks] – počet kusů tyčí

$$M_C = \sum Q_{kst} \cdot 22,9 = 2 \cdot 22,9 = 45,8 \text{ kg}$$

- **Hmotnost hotové součásti při hustotě hliníku $2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$**

(vypočítána pomocí programu Autodesk Inventor 2014):

$$M_O = 0,165 \text{ kg}$$

- **Stupeň využití materiálu:**

$$\frac{M_O \cdot N}{M_C} \cdot 100 [\%] \quad (2.8)$$

kde:

N [ks] – počet kusů vyrobených za rok

$$\frac{M_O \cdot N}{M_C} \cdot 100 = \frac{0,165 \cdot 100}{45,8} \cdot 100 = 36 \%$$

- **Cena dodávaného materiálu:**

$Cena = 100 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$ – vztahuje se k datu 10. 4. 2014

$$C_M = cena \cdot M_C [\text{Kč}] \quad (2.9)$$
$$C_M = 100 \cdot 45,8 = 4580 \text{ Kč}$$

3 NÁVRH CNC TECHNOLOGIE

Pro výrobu dílu matice pojistky byla zvolena technologie obrábění na CNC stroji. Pouze dělení materiálu bylo provedeno na pásové pile.

3.1 Volba Stroje

CNC stroj byl volen podle dispozice firmy ITZ, s.r.o., kde byl díl vyráběn.

3.1.1 CNC soustruh Opti L44

CNC soustruh s vodorovným ložem vybavený profesionálním řídicím systémem SIEMENS, ideální pro malé série nebo učební potřeby [5].

Souhrnný přehled technických parametrů stroje jsou uvedeny v tab. 3.1.



Obr. 3.1 CNC soustruh Opti L44 [5].

Tab. 3.1 Základní technické parametry CNC soustruhu Opti L44 [5].

Řídicí systém	SIEMENS
Rozsah posuvu - osa X	165 mm
Rozsah posuvu - osa Z	600 mm
Otáčky	3500 min ⁻¹
Průchod vřetene	52 mm
Typ nožové hlavy	automatická
Kapacita zásobníku nástrojů	8, automatická výměna
Příkon	8000 W
Elektrické připojení	400 V
Rozměry (š × v × h)	2432 × 2232 × 1796 mm
Hmotnost	2100 kg

3.2 Volba nástrojů

Nástroje jsou voleny z katalogu firmy Pramet Tools [6]. Použité nástroje pro výrobu matice pojistky jsou obsaženy v nástrojovém listu, viz tab. 3.2 [6].

Tab. 3.2 Nástrojový list.

VUT FSI ÚST BRNO	NÁSTROJOVÝ LIST			Číslo listu: 1
Pozice:	Zobrazení nástroje:	Název nástroje	Označení nástroje:	Materiál:
T1		Monolitní vrták Ø20	303DS-20,0-55-A20	HSS
T2		Nůž pro vnější soustružení (hrubovací)	SCLCR 2525 M 12-M-A	HSS
		Výměnná břitová destička	CCGT 120408F-AL	HF7
T3		Nůž pro vnější soustružení (dokončovací)	SCLCR 2525 M 12-M-A	HSS
		Výměnná břitová destička	CCGT 120408F-AL	HF7
T4		Nůž pro vnitřní soustružení (hrubovací)	S16M-SCLCR 06	HSS
		Výměnná břitová destička	CCGT 060204F-AL	HF7
T5		Nůž pro vnitřní soustružení (dokončovací)	S16M-SCLCR 06	HSS
		Výměnná břitová destička	CCGT 060204F-AL	HF7
T6		Zapichovací nůž vnitřní	A20R-GGFR 0313	HSS
		Výměnná břitová destička	LCMF 031302-F	T8330
T7		Nůž na vnější závity	SER 2020 K16	HSS
		Výměnná břitová destička	TN 16ER150-300M	8030

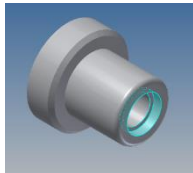
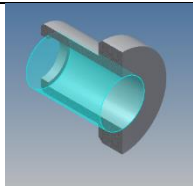
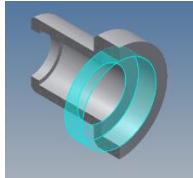
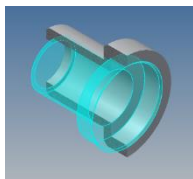
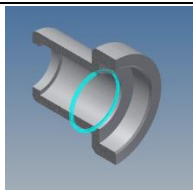
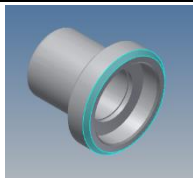
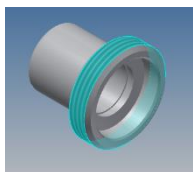
Pozn.: Nástroje T2 a T3 resp. T4 a T5 jsou shodné. Jsou ale rozdělené na hrubovací a dokončovací z důvodu opotřebení a vlivu opotřebení na dokončování.

3.3 Výrobní postup

Veškeré potřebné operace pro výrobu dílu matice pojistky jsou navrženy v tab. 3.3.

Tab. 3.3 Výrobní postup.

VÝROBNÍ POSTUP				
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
0/0	pásová pila 35967	Řezárna	řezat na délku 57	Posuvné měřítko 150 ČSN 15 1234
01/01	CNC soustruh OPTI L44 04111	Obrobná	Vrtat průchozí díru Ø20	T1
			Zarovnat čelo	T2
			Hrubovat na vnější Ø40 v délce 39 s přídavkem 0,2 na dokončení	T3
			Soustružit vnější Ø40 v délce 39 na hotovo, včetně radiusu R3	T4
			Hrubovat vnitřní Ø25,3 v délce 7 s přídavkem 0,2 na dokončení	T5
01/02	CNC soustruh OPTI L44 04111	Obrobná	Soustružit vnitřní Ø25,3 v délce 7 na hotovo, včetně sražení	T3
			Zarovnat čelo na délku 55	T4
			Soustružit vnější sražení 2,5x45°	
			Hrubovat vnitřní Ø30,2 v délce 50 s přídavkem 0,2 na dokončení	
			Hrubovat vnitřní Ø46 v délce 11 s přídavkem 0,2 na dokončení	T5
			Soustružit vnitřní sražení 1x45°	
			Soustružit vnitřní Ø46 v délce 11 na hotovo	T6
			Soustružit vnitřní Ø30,2 v délce 39 na hotovo	
			Soustružit vnitřní zápich	
			Soustružit závit M60x3	T7

Operace	v_c	n	f	a_p	l	t_{as}	Nástroj	
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$		
Soustružení vnitřního Ø25,3		372	3500	0,200	2	5	0,88	4
Hrubování vnitřního Ø30,2		135	2000	0,300	3	50	1,13	4
Hrubování vnitřního Ø46		135	1400	0,300	3	10,8	0,4	4
Dokončení vnitřního osazení		610	3500	0,100	0,5	50	0,26	5
Soustružení zápichu		355	3500	0,1	3	3	0,05	6
Soustružení sražení pro závit M60		372	3500	0,200	2,5	2,5	0,02	3
Soustružení závitu M60		150	795	3	1	16	0,3	7

3.4.1 Výpočet otáček

Výpočet otáček pro druhou operaci:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \rightarrow n = \frac{V_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (3.1)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] je řezná rychlost,
D [mm] je průměr obráběné součásti,
n [min^{-1}] jsou otáčky.

$$n = \frac{110 \cdot 10^3}{\pi \cdot 60} = 583 \text{ min}^{-1}$$

3.4.2 Výpočet strojního času

Strojní čas je v tomto případě převzat ze simulátoru, do kterého jsou zadány přesné údaje z návodky viz tab. 3.4.

4 SESTAVENÍ NC PROGRAMU, OVĚŘENÍ

NC program byl sestaven pomocí programu ELTEK S 2000 a ověřen pomocí simulace. Celý program je napsán v ISO kódu. Program je obsažen v příloze.

4.1 NC program

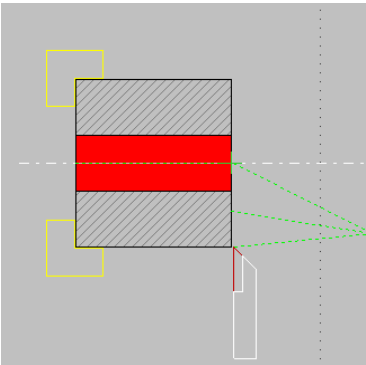
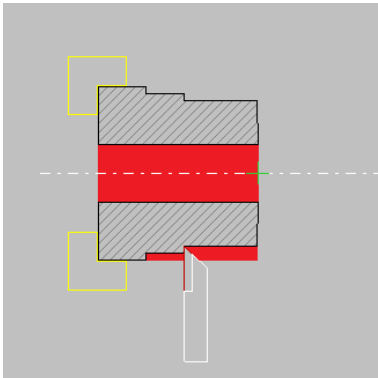
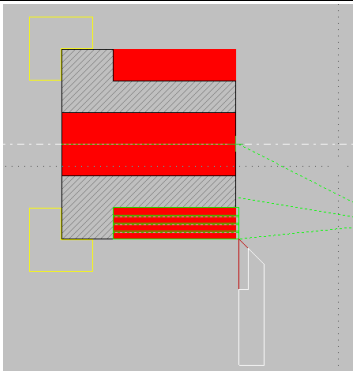
NC program byl napsán ručně s pomocí cyklů.

4.2 Zobrazení simulace hrubování

V tab. 4.1 je zobrazen běh simulace hrubování vnějšího osazení. Zobrazen je i blok programu odpovídající dané operaci. Hrubování je naprogramováno pomocí cyklu G64.

Kde X a Y jsou souřadnice, H – hloubka třísky, F – posuv a S – otáčky.

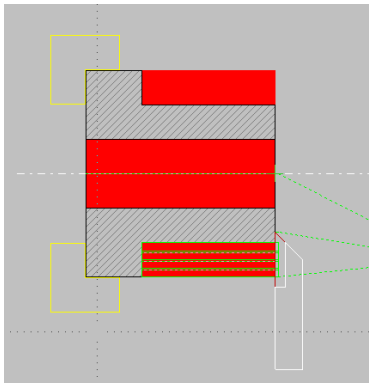
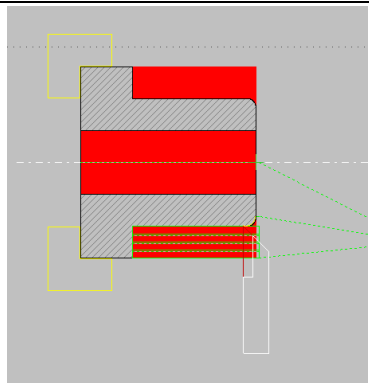
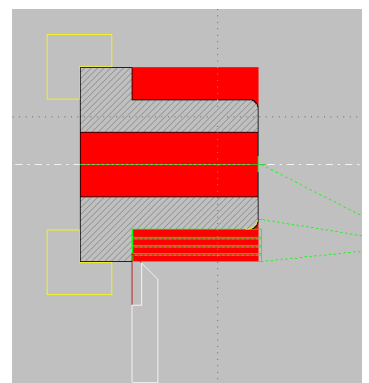
Tab. 4.1 Simulace hrubování vnějšího osazení.

Začátek cyklu hrubování	
	M06 X 80 Z 80 T 02 M03 S 583 •G00 X 60 Z 1 S 583 G64 X 40.1 Z -38.8 H 5 F 500 S 583 G00 X 80 Z 80
Průběh cyklu hrubování	
	M06 X 80 Z 80 T 02 M03 S 583 G00 X 60 Z 1 S 583 •G64 X 40.1 Z -38.8 H 5 F 500 S 583 G00 X 80 Z 80
Konec cyklu hrubování	
	M06 X 80 Z 80 T 02 M03 S 583 G00 X 60 Z 1 S 583 •G64 X 40.1 Z -38.8 H 5 F 500 S 583 G00 X 80 Z 80

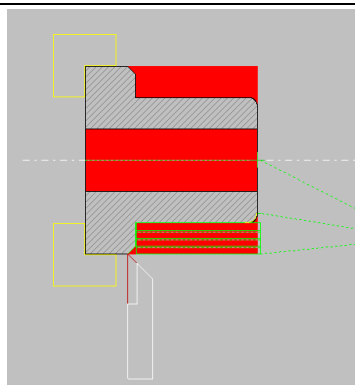
4.3 Zobrazení simulace dokončování

V tab. 4.2 je zobrazen běh simulace dokončování vnějšího osazení. Dokončování je programováno ručně bez pomoci cyklu, tedy výhradně pomocí funkcí G0 (rychloposuv) a G1 (pracovní posuv). Na obrázku 4.1 je zobrazen díl po operaci dokončení vnějšího osazení. Kompletně vyrobený díl je na obrázku 4.2.

Tab. 4.2 Simulace dokončování vnějšího osazení.

Začátek dokončování	
	M06 X 80 Z 80 T 03 M03 S 3500 G00 X 34 Z 1 ●G01 X 34 Z 0 F 200 G03 X 40 Z -4 R 3 G01 X 40 Z -39 G01 X 55 Z -39 G01 X 60 Z -41.5 G00 X 80 Z 80
Soustružení rádiusu pomocí funkce G3	
	M06 X 80 Z 80 T 03 M03 S 3500 G00 X 34 Z 1 G01 X 34 Z 0 F 200 ●G03 X 40 Z -4 R 3 G01 X 40 Z -39 G01 X 55 Z -39 G01 X 60 Z -41.5 G00 X 80 Z 80
Začátek sražení pro závit M60	
	M06 X 80 Z 80 T 03 M03 S 3500 G00 X 34 Z 1 G01 X 34 Z 0 F 200 G03 X 40 Z -4 R 3 G01 X 40 Z -39 ●G01 X 55 Z -39 G01 X 60 Z -41.5 G00 X 80 Z 80

Dokončení sražení



M06 X 80 Z 80 T 03

M03 S 3500

G00 X 34 Z 1

G01 X 34 Z 0 F 200

G03 X 40 Z -4 R 3

G01 X 40 Z -39

G01 X 55 Z -39

●G01 X 60 Z -41.5

G00 X 80 Z 80



Obr. 4.1 Díl po dokončení vnějšího osazení.



Obr. 4.2 Díl po skončení programu.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Výroba matice pojistky byla provedena na CNC soustruhu Opti L44. Sériovost dílu je pouze 100 kusů, proto je počítáno s jedním CNC strojem.

5.1 Příkon stroje

Příkon elektromotoru CNC soustruhu Opti L44 je 8 kW viz tab. 2.

5.2 Spotřeba elektrické energie

Celkový strojní čas na výrobu jednoho kusu je 4,43 minut. Strojní čas pro celou sérii 100 kusů je tedy 7,38 hodin.

Počet pracovních hodin stroje je cca 7,5 hodiny. Příkon stroje je 8kW a průmyslová cena elektrické energie je 5,5 Kč za kWh.

$$E_c = P_c \cdot 7,5 = 8 \cdot 7,5 = 60 \text{ kWh} \quad (5.1)$$

$$C_E = E_c \cdot 5,5 = 60 \cdot 5,5 = 330 \text{ Kč} \quad (5.2)$$

5.3 Počet nástrojů

Při určení počtu nástrojů, je vycházeno z trvanlivosti břitových destiček a strojních časů viz obecný vzorec 5.3.

$$D_{VBD} = \frac{tas}{T \cdot S_b} = [ks] \quad (5.3)$$

kde:

tas [min] – strojní čas

T [min] – trvanlivost

S_b [ks] – počet břitů

5.3.1 Vrtání

Celkový strojní čas vrtání pro jeden díl je 0,25 min, pro celou sérii je tedy 25 min. Na vrtáku jsou dva břity a jejich trvanlivost je 30 min. Z toho vyplývá, že na celou sérii 100 kusů bude použit jeden vrták.

5.3.2 Vnější hrubování

Celkový strojní čas vnějšího hrubování pro jeden díl je 1,3 min, pro celou sérii je tedy 130 min. Na VBD jsou 2 břity s trvanlivostí jednoho 15 min.

$$D_h = \frac{130}{15 \cdot 2} = 4,3 \cong 5 \text{ břitových destiček}$$

Pro vnější hrubování bude tedy zapotřebí 5 břitových destiček CCGT 120408F-AL.

5.3.3 Vnitřní hrubování

Celkový strojní čas vnitřního hrubování pro jeden díl je 2,41 min, pro celou sérii je tedy 241 min. Na VBD jsou 2 břity s trvanlivostí jednoho 15 min.

$$D_{hv} = \frac{241}{15 \cdot 2} = 8,03 \cong 9 \text{ břitových destiček}$$

Pro vnitřní hrubování bude tedy zapotřebí 9 břitových destiček CCGT 060204F-AL.

5.3.4 Vnější dokončování

Celkový strojní čas vnějšího dokončování pro jeden díl je 0,63 min, pro celou sérii je tedy 63 min. Na VBD jsou 2 břity s trvanlivostí jednoho 15 min.

$$D_d = \frac{63}{15 \cdot 2} = 2,1 \cong 3 \text{ břitové destičky}$$

Pro vnější dokončování bude tedy zapotřebí 3 břitových destiček CCGT 120408F-AL.

5.3.5 Vnitřní dokončování

Celkový strojní čas vnitřního dokončování pro jeden díl je 0,26 min, pro celou sérii je tedy 26 min. Na VBD jsou 2 břity s trvanlivostí jednoho 15 min.

$$D_{dv} = \frac{26}{15 \cdot 2} = 0,86 \cong 1 \text{ břitová destička}$$

Pro vnitřní dokončování bude tedy zapotřebí 1 břitová destička CCGT 060204F-AL.

5.3.6 Soustružení zápichu

Celkový strojní čas zapichování pro jeden díl je 0,05 min, pro celou sérii je tedy 5 min. Na VBD jsou 2 břity s trvanlivostí jednoho 15 min.

$$D_z = \frac{5}{15 \cdot 2} = 0,16 \cong 1 \text{ břitová destička}$$

Pro vnitřní dokončování bude tedy zapotřebí 1 břitová destička LCMF 031302-F.

5.3.7 Soustružení závitu

Celkový strojní čas soustružení závitu pro jeden díl je 0,30 min, pro celou sérii je tedy 30 min. Na VBD jsou 2 břity s trvanlivostí jednoho 15 min.

$$D_{sz} = \frac{30}{15 \cdot 2} = 1 \cong 1 \text{ břitová destička}$$

Pro vnitřní dokončování bude tedy zapotřebí 1 břitová destička TN 16ER150-300M.

5.4 Náklady na obsluhu

Na výrobu celé série 100 kusů postačí jeden stroj, který obsluhuje pouze jeden pracovník. Pracovní doba stroje pro tuto sérii je 7,5 hodiny. Běžná pracovní doba pracovníka je 8,5 hodiny včetně přestávky na oběd. Z těchto údajů je zřejmé, že během jednoho dne není pracovník schopen celou sérii vyrobit. Je nutné k pracovní době stroje připočítat manipulační časy a čas na seřízení stroje. Uvažuje se tedy na výrobu maximálně 10 hodin práce. Při mzdě $120 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$ bude celkový náklad na dělníka $C_D = 1200 \text{ Kč}$.

5.5 Náklady na povrchovou úpravu

Podle nabídky firmy MESIT povrchové ochrany, s.r.o. je cena jednoho postříbřeného dílu 100 Kč. Při sérii 100 kusů budou celkové náklady na povrchovou úpravu $C_P = 10\,000 \text{ Kč}$.

5.6 Hrubý odhad výrobních nákladů dílu

Celkové výrobní náklady na výrobu dílu by měly odrážet náklady na energii, pracovníka a materiál + další náklady jako např. povrchová úprava. U hrubého odhadu postačí jmenované faktory. Odhad ceny jednoho kusu dílu bude tedy:

$$C_V = \frac{C_D + C_E + C_M + C_P}{s} = [\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (5.4)$$

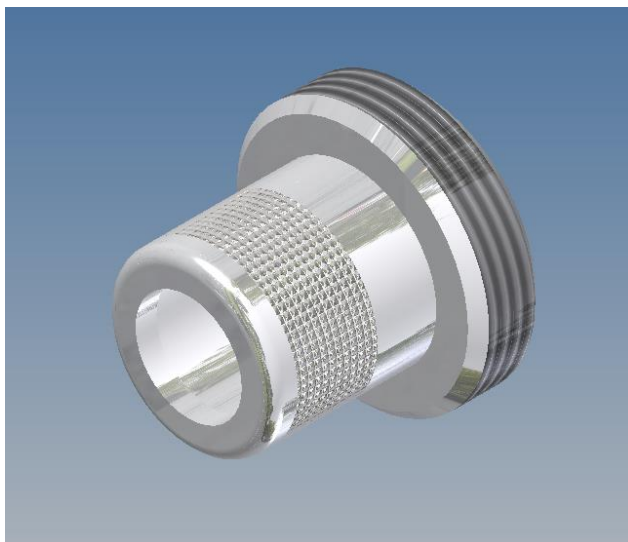
$$C_V = \frac{1200 + 330 + 4580 + 10000}{100} = 161 \text{ Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$$

Z výpočtu vychází hrubý odhad nákladů na vyrobení jednoho dílu na 161 Kč.

DISKUZE

Tento díl matice pojistky byl vyráběn na CNC soustruhu Opti L44, s maximálním průchodem vřetene do Ø52 mm. Vyráběný díl má však největší Ø60 mm a tedy neprojde vřetenem stroje a je nutné obrábět tento díl na dvě upnutí. Toto řešení není nejvhodnější z hlediska efektivnosti a časové náročnosti na výrobu, ale z výše zmíněného důvodu (kap. 3.1) není možné vyrobit díl jiným způsobem. Pro zvýšení efektivnosti a snížení času na manipulaci a obsluhu stroje, by tedy bylo vhodnější volit stroj s větším průchodem vřetene. Tento stroj doplněný o vhodný podavač by umožnil výrobu dílu na jedno upnutí a bez nutnosti dělení materiálu před samotným obráběním. Dělení materiálu by bylo provedeno upichovacím nožem.

Jako možnost pro zlepšení dílu matice pojistky je zdrsňení povrchu na vnějším Ø40 mm. Tento průměr je určen k manipulaci, není tedy vhodné, aby tento průměr měl stejný povrch jako celý díl. Řešením tohoto problému s nevhodným povrchem pro manipulaci s dílem, by bylo vroubkování provedeno alespoň na polovině délky zmiňovaného průměru. Návrh dílu matice pojistky s vroubkováním viz obr. 6.1.



Obr. 6.1 Návrh vroubkování dílu.

Další prostor pro diskuzi je v operaci soustružení závitu. Veškeré řezné podmínky pro tuto operaci byly převzaty z katalogu výrobce nástroje. Je nutné nejdříve tyto předepsané podmínky odzkoušet na zkušebním kusu, jelikož závit nemusí mít vždy vhodnou jakost. Pokud by byl závit např. potrháný je třeba řezné podmínky upravit.

ZÁVĚR

Práce se věnuje problematice výroby dílu matice pojistky. V první kapitole práce je věnovaná pozornost seznámení se s technologií na CNC strojích. Dále se zde nachází přehled využívaných funkcí pro tvorbu NC programu.

Druhá kapitola se přímo zabývá dílem a to z pohledu technologičnosti a funkčnosti. Je zde zobrazen 3D model dílu, ale také jeho reálné využití ve firmě ABB. V kapitole je zmíněná povrchová úprava galvanickým stříbřením pro zvýšení elektrické vodivosti dílu. Jako zvolený materiál je hliníková slitina ČSN 42 4254 (AlCu₄MgPb) známá taky jako automatová a vhodná pro obrábění. Tento materiál je kulatina s Ø60 mm a před výrobou se dělí na pásové pile po 57 mm.

Třetí kapitola řeší vhodný návrh CNC technologie zahrnující volbu stroje, nástrojů, výrobní postup a návodku včetně výpočtu otáček a strojního času. Stroj byl zvolen CNC soustruh Opti L44, který se hodí spíše na obrábění menších součástí. Pásová pila v této práci volena nebyla, jelikož se jedná o stroj, který se nachází téměř v každé dílně či výrobě. Nástroje pro výrobu dílu byly voleny z katalogu od firmy Pramet Tools, s.r.o. Výrobní postup byl vytvořen bez jakékoliv vizualizace. V návodce jsou vloženy obrázky zobrazující daný úkon a k tomu přiřazené nástroje, řezná rychlost, otáčky, posuv, hloubka řezu a její délka a také strojní čas, který byl převzat ze simulace za pomoci programu S2000.

Ve čtvrté kapitole je vysvětleno sestavení NC programu a také jeho ověření. Celý NC program byl naprogramován ručně a za pomoci cyklů např. u hrubování. Program byl sestaven v programu S 2000 od systému ELTEK a je uveden v příloze. Ověření NC programu je provedeno formou printscreenu ze simulace a k tomu přiložený odpovídající blok programu. Pro ověření bylo zobrazena pouze simulace hrubování vnějšího průměru a jeho dokončování.

V kapitole páté je provedeno technicko-ekonomické vyhodnocení a to formou výpočtu spotřeby elektrické energie, počtu potřebných VBD či nákladu na obsluhu. Spotřeba elektrické energie byla vypočítána z příkonu stroje, pracovních hodin stroje její ceny. Bylo spočítáno, že na výrobu 100 ks dílu matice pojistky bude stát elektrická energie pro stroj Opti L44 cca 330 Kč. Počty nástrojů a VBD byly spočítány pro jednotlivé nástroje a jelikož je uvažovaná série vyrobených dílů 100 ks je celková spotřeba VBD 20 kusů. Náklad na dělníka při uvažované pracovní době 10 hodin a mzdě 120 Kč/h bude 1200 Kč. Při propočítání hrubého odhadu výrobních nákladů na jeden díl vyšlo 161 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
2. Measurite-metrology. *Sinumerik* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://2.bp.blogspot.com/-UtYvheHsoKw/TofLrHaIsRI/AAAAAAAAAABY/zTC2-iwHG44/s1600/P1110716-748285.jpg>
3. Boukal. *CNC frézka opti F150* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: boukal.cz/obrazky/38552/cnc-frezka-opti-f150-tc-obrabeci-centrum-galery.jpg
4. Keramet, s. r. o. *Hliníková kulatina, hliníkové tyče s kruhovým průřezem – plné* [online]. [vid. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.keramet.cz/?i=296/hlinikova-kulatina>
5. AGAP, s. r. o. *CNC soustruh Opti L44* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.strojekovo.cz/cnc-soustruhy/8345-cnc-soustruh-opti-l44.html>
6. Pramet Tools, s. r. o. *e-cat 2014* [online]. [vid. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	computer numerical control
ČSN	[-]	česká technická norma
HSS	[-]	high speed steel
OTK	[-]	odbor technické kontroly
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
C_D	[Kč]	náklady na dělníka
C_E	[Kč]	cena elektrické energie celkem
C_M	[Kč]	cena dodávaného materiálu
C_P	[Kč]	náklady na povrchovou úpravu
C_V	[Kč]	odhadovaná cena dílu
D	[mm]	průměr tyče
D_d	[ks]	VBD pro vnější dokončování
D_{dv}	[ks]	VBD pro vnitřní dokončování
D_h	[ks]	VBD pro vnější hrubování
D_{hv}	[ks]	VBD pro vnitřní hrubování
D_{sz}	[ks]	VBD pro soustružení závitu
D_z	[ks]	VBD pro zápich
E_C	[kWh]	celková elektrická energie
G_1	[kg]	hmotnost výrobku
G_2	[kg]	hmotnost polotovaru
H_i	[μ m]	jakost povrchu
L_1	[mm]	délka polotovaru pro řezání
L_2	[mm]	délka polotovaru i s prořezem
L_D	[mm]	délka dodávané tyče
L_p	[mm]	prořez při tloušťce pilového pásu 1mm
M_c	[kg]	celková hmotnost tyčí
M_o	[kg]	hmotnost hotové součásti
N	[ks]	počet kusů vyrobených za rok
P_C	[kW]	celkový příkon
P_i	[-]	IT číslo dané operace
Q_{ks}	[ks]	počet kusů z tyče
Q_{kst}	[ks]	počet kusů tyčí
R_a	[μ m]	střední aritmetická hodnota drsnosti

S_b	[ks]	počet břitů
T	[min]	trvanlivost
U_k	[μm]	ukazatel jakosti povrchu
U_m	[-]	ukazatel využití materiálu
U_p	[-]	ukazatel průměrné přesnosti
V	[mm^3]	objem
V_c	[mm^3]	celkový objem materiálu
a_p	[mm]	hloubka třísky
f	[mm]	posuv
l	[mm]	délka řezu
m_T	[kg]	hmotnost jedné tyče
n	[min^{-1}]	otáčky
n_i	[-]	četnost výskytu dané jakosti povrchu
s	[ks]	sériovost
t_{as}	[min]	strojní čas
v	[mm]	výška prořezu
v_c	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
π	[-]	ludolfovo číslo
ρ	[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	hustota

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Příloha 2

Příloha 3

Příloha 4

Výkres dílu

NC program

Ukázka e-katalogu PRAMET

Systémové rozhraní programu S2000

